第37講　非線形素子

1

図1のL_1，L_2のような直流の電流電圧特性を持つ2種類の電球がある。図2は，抵抗Rと内部抵抗が無視できる電池E，およびab端子で構成される回路であり，図3はその端子につなげる4例の電球の接続図を示す。以下の各問に答えよ。

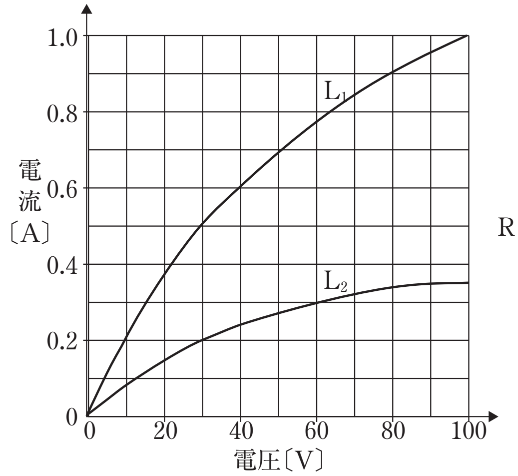

図1

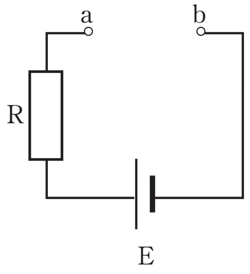

図2

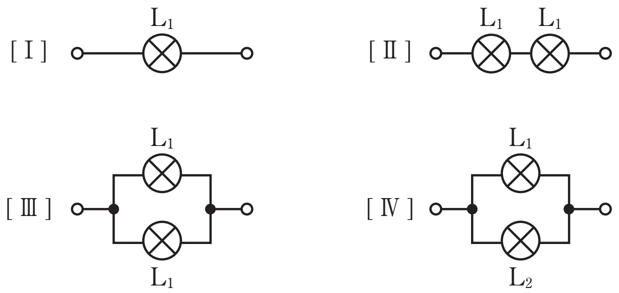

図3

(1)　ab端子に[Ⅰ]の電球を接続したとき，抵抗Rを60[Ω]，電池Eの起電力を60[V]とすると，L_1に流れる電流はいくらか。

(2)　ab端子に[Ⅱ]の電球を接続したとき，抵抗Rを200[Ω]，電池Eの起電力を200[V]とすると，L_1に流れる電流はいくらか。

(3)　ab端子に[Ⅲ]の電球を接続したとき，抵抗Rを50[Ω]，電池Eの起電力を100[V]とすると，1個のL_1の消費電力はいくらか。

(4)　ab端子に[Ⅳ]の電球を接続したとき，抵抗Rを100[Ω]，電池Eの起電力を100[V]とすると，L_2に流れる電流はいくらか。また，この回路全体の消費電力はいくらか。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⓒRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

金属の電気抵抗について以下の問に答えよ。

問1　次の文章は金属中の自由電子の運動に関する説明である。文中の空欄(1)〜(5)にあてはまる式を記せ。

図1に示すように直方体の金属に電池をつないで電流 I [A] を流す。金属の両端での電圧降下は V [V] である。金属の各辺は，x，y，z 軸と平行であり，それぞれの方向の長さを，L [m]，b [m]，c [m] とする。電子の電荷を $-e$ [C]（$e>0$）とし，単位体積あたりの自由電子の個数を n [1/m^3] とする。

金属中で自由電子は，電場による力と陽イオンの熱振動による抵抗力を受けながら運動することになる。1個の電子にはたらく x 軸方向の電場による力は，(1) [N] である。自由電子の x 軸方向の速度の平均を v [m/s] とするとき，1個の電子が受ける抵抗力 f [N] が v [m/s] に比例することを仮定すると，$f=-kv$ [N]（$k>0$）と書ける。電場による力と抵抗力がつりあったとき，v [m/s] は一定になり，$v=$ (2) $\times V$ [m/s] が得られる。一方，左方向に流れる電流 I [A] は，v [m/s] を用いて表すと，$I=$ (3) $\times v$ [A] となる。以上より電圧と電流の関係は，$I=$ (4) $\times V$ [A] と与えられ，金属の抵抗 R [Ω] は，長さ L [m] に比例し，$R=$ (5) $\times L$ [Ω] と書くことができる。

このように，オームの法則では自由電子の運動をさまたげる力が重要であることがわかる。

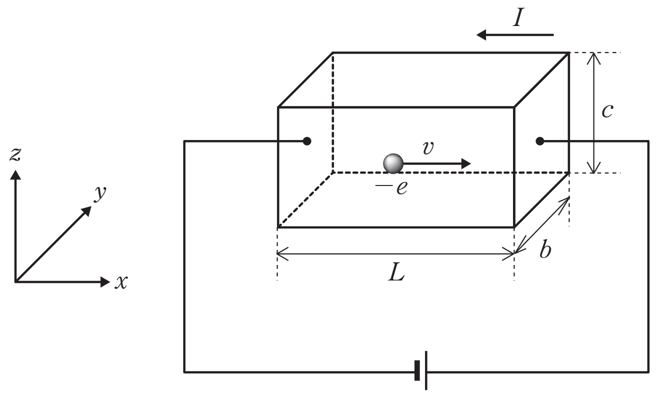

図1

問2　一般に金属の電気抵抗は，温度の上昇とともに増加する。このことを問1の文章を参考にして簡潔に説明せよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問３

金属の抵抗 R［Ω］は，温度 T［℃］の関数として，$R = R_0(1+\alpha T)$に従って変化する。ここで，R_0［Ω］は 0 ℃での抵抗，α［1/K］は温度係数である。一方，金属に電流を流すと，ジュール熱によって温度が上昇し，抵抗が変化する。図２に，ある金属をフィラメントに用いた電球にかかる電圧（V［V］）と電流（I［A］）の関係を示す。この測定は室温 20℃で行われたものである。点線は電圧が十分小さいときの曲線の接線を表す。フィラメントの温度係数は$\alpha = 5.3\times10^{-3}$［1/K］とする。

以下の⑷以外の設問では有効数字２桁の数値で答えよ。答えを導く過程も示せ。

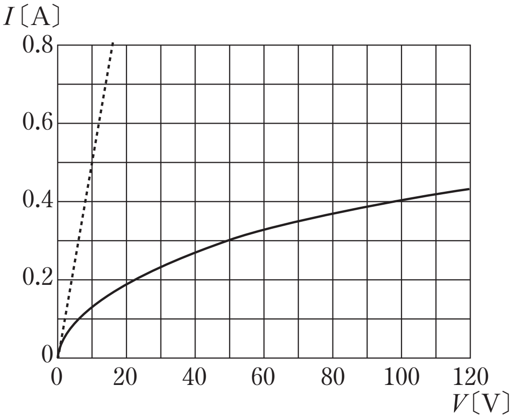

図２

⑴　図２のグラフから値を読みとって，電圧が十分小さくジュール熱の効果が無視できる場合のフィラメントの抵抗 R［Ω］を求めよ。

⑵　0 ℃での抵抗［Ω］を求めよ。

⑶　電球のフィラメントに 100V の電圧を加えたときのフィラメントの温度を求めよ。

⑷　図３に示すように，この電球を抵抗と電池に接続する。電球にかかる電圧，電流，電池の起電力，および抵抗を，それぞれ，V［V］，I［A］，E［V］，R_x［Ω］とし，電池の内部抵抗は無視できるものとする。このとき，電流 Iを V，E，R_x を用いて表せ。

⑸　図３の回路において，E＝80V，R_x＝100 Ωとするとき，電球にかかる電圧 V［V］と電球での消費電力 W［W］を求めよ。

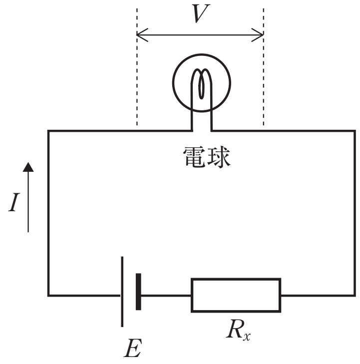

図３

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 37 講　確認テスト

次の問題に答えなさい。設問の解答は解答群より１つ選びなさい。

図１のグラフは豆電球ＰとＱに加わる電圧と流れる電流の関係を示している。このグラフを用いて，［ア］～［ク］に入る最も適切な数値を選びなさい。ただし，電池の内部抵抗は無視できるものとする。

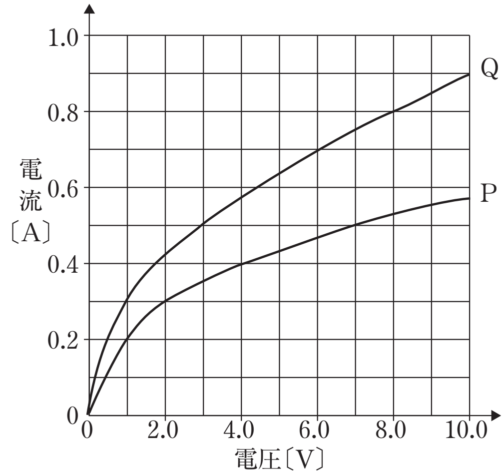

図１

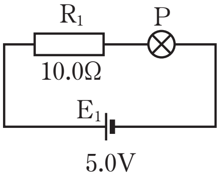

図２

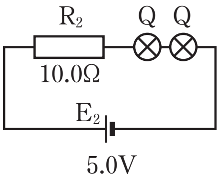

図３

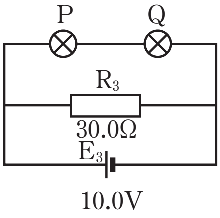

図４

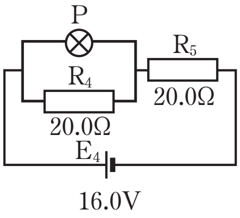

図５

(1)　起電力 5.0V の電池 E_1，抵抗値 10.0 Ωの抵抗 R_1 および１個のＰを図２のようにつないだとき，Ｐを流れる電流は［ア］Ａであり，R_1 における電圧降下は［イ］Ｖである。

(2)　起電力 5.0V の電池 E_2，抵抗値 10.0 Ωの抵抗 R_2 および２個のＱを図３のようにつないだとき，Ｑを流れる電流は［ウ］Ａである。

(3)　起電力 10.0V の電池 E_3，抵抗値 30.0 Ωの抵抗 R_3，１個のＰおよび１個のＱを図４のようにつないだとき，Ｐを流れる電流は［エ］Ａであり，Ｐの抵抗値は［オ］Ωである。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　起電力16.0Vの電池E_4，抵抗値20.0 Ωの2個の抵抗R_4とR_5および1個のPを図5のようにつないだとき，Pを流れる電流は[カ]Aであり，Pの抵抗値は[キ]Ωである。また，このとき，R_5を流れる電流は[ク]Aである。

[ア]，[ウ]，[エ]，[カ]，[ク]の解答群

①　0.1　②　0.2　③　0.3　④　0.4　⑤　0.5　⑥　0.6
⑦　0.7　⑧　0.8　⑨　0.9　⑩　1.0

[イ]，[オ]，[キ]の解答群

①　2.0　②　3.0　③　4.0　④　5.0　⑤　6.0　⑥　8.0
⑦　10.0　⑧　12.0　⑨　14.0　⑩　16.0

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 37 講　解答

1

(1)　0.5［A］

(2)　0.6［A］

(3)　24［W］

(4)　電流 0.2［A］　70［W］

2

問１

(1)　$\dfrac{eV}{L}$　(2)　$\dfrac{e}{kL}$　(3)　$nebc$　(4)　$\dfrac{ne^2bc}{kL}$　(5)　$\dfrac{k}{ne^2bc}$

問２

温度が上昇すると抵抗力の係数が大きくなり，それに比例する抵抗値も大きくなる。

問３

(1)　2.0×10［Ω］　(2)　1.8×10［Ω］　(3)　2.4×10^3［℃］

(4)　$I=\dfrac{E-V}{R_x}$　(5)　電圧 5.0×10［V］　電力 1.5×10［W］

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 37 講　確認テスト

【解答】

ア　③　　イ　②　　ウ　③　　エ　⑤　　オ　⑨

カ　④　　キ　⑦　　ク　⑥

【解説】

⑴　図１のように V_P，I をとると，

$$5.0 = V_P + 10.0I$$

$V_P=0$ のとき $I=0.5$，$I=0$ のとき $V_P=5$ より図５⑴のグラフを得る。

これと P の特性曲線から交点を求めると

$V_P = 2.0$ [V]，$I = \mathbf{0.30}$ [A]_ア

R_1 の電圧降下は

$R_1I = 10\times0.3 = \mathbf{3.0}$ [V]_イ

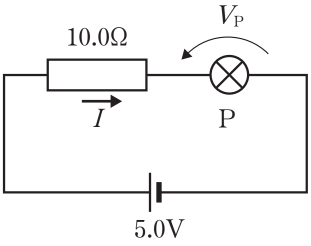

図１

⑵　図２のように V_Q，I をとると，

$$5.0 = 10.0I + 2V_Q$$

⑴と同様にして図５⑵のグラフを得る。

これと Q の特性曲線の交点を求めて（図５）

$V_Q = 1.0$ [V]，$I = \mathbf{0.30}$ [A]_ウ

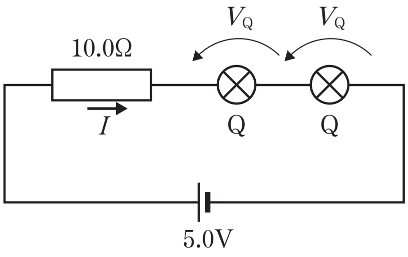

図２

⑶　電圧について，$V_P + V_Q = 10$ となる。特性曲線について，同じ電流値で $V_P + V_Q = 10$ となる電流値を求めると，**0.50** [A]_エ

このとき，$V_P = 7.0$ [V] ゆえ，P の抵抗は

$$\frac{7.0}{0.5} = \mathbf{14.0}\ [\Omega]$$_オ

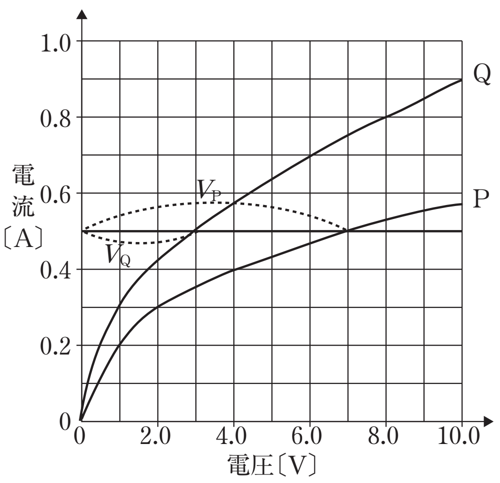

図３

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(4)　図４のように V_P，I をとると，R_4 を流れる電流は

$\dfrac{V_P}{R_4}=\dfrac{V_P}{20}$，$R_5$ を流れる電流は $I+\dfrac{V_P}{20}$ となる。

よって，回路の方程式は

$$16=V_P+\left(I+\frac{V_P}{20}\right)\times 20$$

$$16=2V_P+20I$$

(1)と同様にして図５(4)のグラフを得る。

これと，Ｐの特性曲線の交点を求めると（図５），

$V_P=4.0$ [V]，$I=$ **0.40** [A]＿カ

Ｐの抵抗値は

$\dfrac{V_P}{I}=$ **10.0** [Ω]＿キ

R_5 を流れる電流は

$I+\dfrac{V_P}{20}=$ **0.60** [A]＿ク

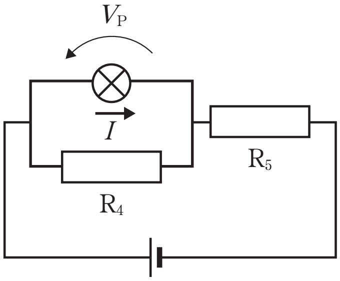

図４

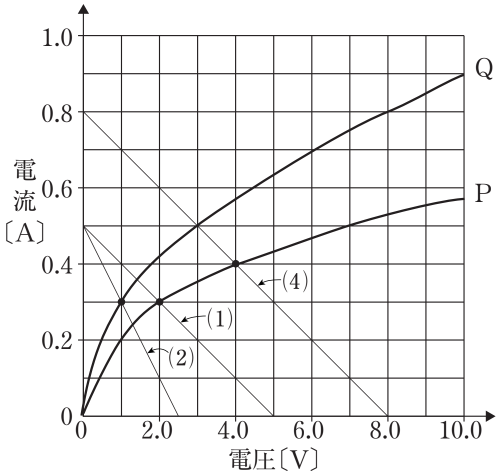

図５

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。